Thomas' Volksbücher

Herausgeber Prof. Dr. Bastian Schmid

Drahtlose Telegraphie

Von

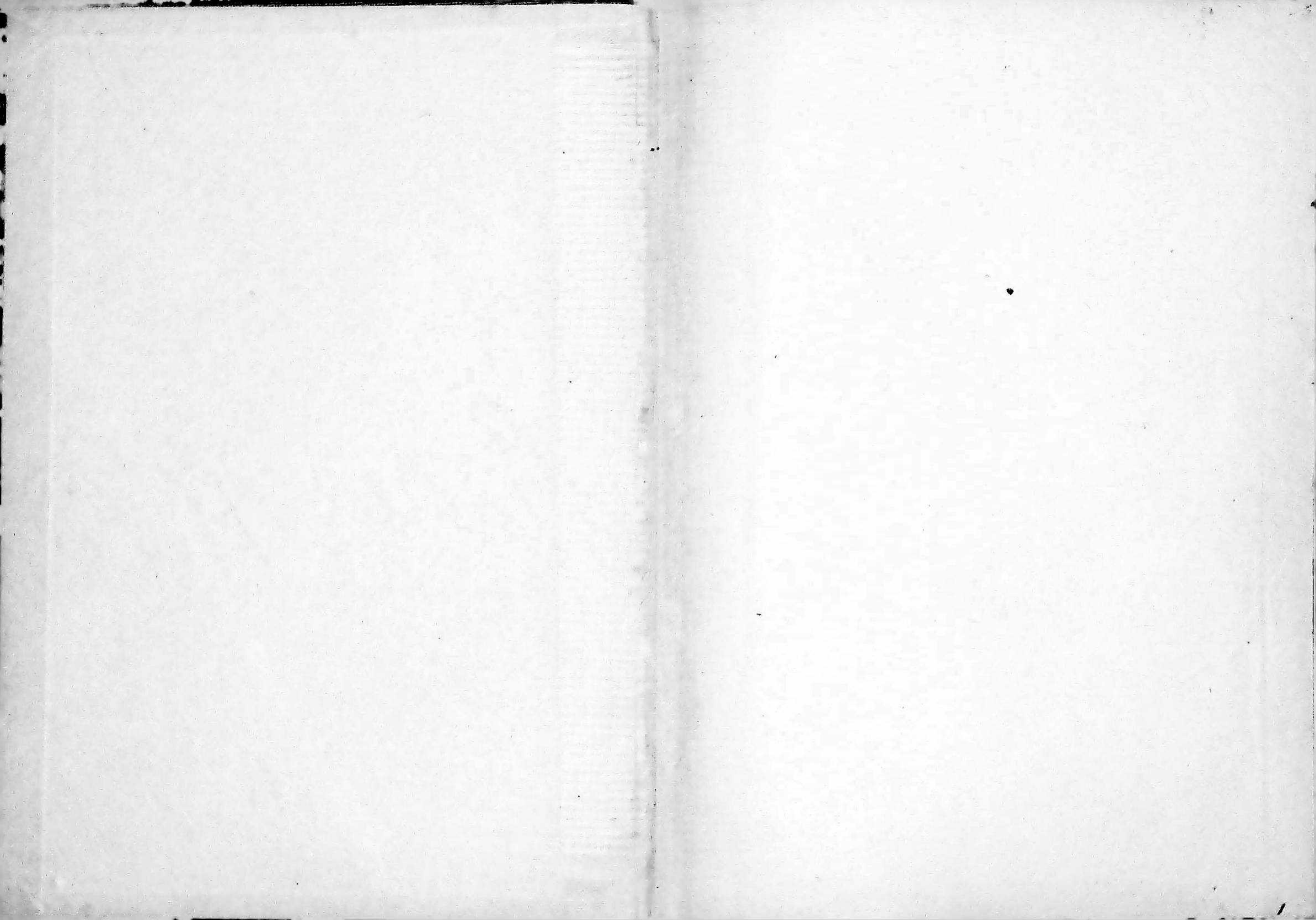
Oberlehrer L. Wunder

Mit 11 Abbildungen

Theod. Thomas Verlag · Leipzig

Nr. 39

Geh. 20 Pfg., geb. 40 Pfg.



Naturwissenschaftlich-Technische Volksbücherei Nr. 39

Drahtlose Telegraphie

Von

L. Wunder

Mit 11 Abbildungen



Theod. Thomas Verlag ○ Leipzig
Geschäftsstelle der Deutschen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft

Vorwort.

Die volkstümliche Darstellung schwieriger und noch umstrittener Erkenntnisgebiete verleitet den Darsteller oft an solchen Stellen zu Ungründlichkeit, wo das Eingehen auf viele Einzelheiten die Einheitlichkeit der Darstellung gefährdet, zumal, wenn sich in den Einzelheiten scheinbare Widersprüche begegnen. Der Verfasser des vorliegenden Versuchs will nicht behaupten, daß es ihm gelungen ist, diese Klippe mit seinem Schifflein zu umsegeln. Den Willen dazu hatte er. Er ist der Überzeugung, daß es besser ist, überhaupt nichts Neues in sich aufzunehmen, als sich mit einer oberflächlichen Betrachtung des Neuen die Seele zu vergiften. Denn obgleich die oberflächliche Betrachtung sich nur an den Verstand zu wenden scheint, verdirbt sie doch den Charakter, indem sie die Einbildung, den Dünkel, großzüchtet und dadurch die nachträgliche Vertiefung der Kenntnisse erschwert. Der Verfasser dieses Versuchs dachte sich deshalb in die Seele eines Menschen hinein, der den Erscheinungen bis in die letzten Gründe nachspüren möchte und von drei Erscheinungen lieber eine unbeachtet lassen, als alle drei nur oberflächlich erfassen will. Er setzte dabei dasjenige Wissen von der Elektrizität im allgemeinen voraus, welches von jedermann ohne mathematische Kenntnisse mit Hilfe der verbreitetsten Lehrbücher erworben werden kann, etwa in dem Umfang der „Elektrizität" in dieser Sammlung.

Sendelbach, Februar 1912.

L. Wunder.

1. Der elektrische Funke.

Ein Gespräch zwischen dem Ingenieur Ludwig und seinem jungen Freund Hans Heinrich.

Hans Heinrich: Du, weißt du eigentlich, woraus der elektrische Funke besteht? Ich habe mich darüber schon oft besonnen und doch nichts Sicheres herausgebracht.

Ludwig: Der Funke besteht aus glühenden Gasen. Wenn du die Funken eines Funkeninduktors genau betrachtest, kannst du daran zwei wesentliche Teile unterscheiden: Du siehst einen fadendünnen Kern, welcher hell violett leuchtet; er ist umgeben von einer rötlichen, schwach leuchtenden Hülle, welche man auch Aureole nennt. Diese Aureole ist nichts anderes als brennende Luft; du kannst sie wie eine richtige Flamme zur Seite blasen.

Hans Heinrich: Du sagst: „brennende Luft". Was ist denn das? Luft kann doch nicht brennen, wie Leuchtgas? Ich habe in der Schule gelernt, daß die Luft das Brennen bei brennbaren Stoffen unterhält, aber daß sie selbst nicht brennen kann.

Ludwig: Es ist aber doch so. Die Luft besteht nämlich der Hauptsache nach aus zwei verschiedenen Gasen, die nur lose miteinander vermischt sind: aus Sauerstoffgas und Stickstoffgas. Der Sauerstoff hat die Eigenschaft, welche du in der Schule gelernt hast. Er unterhält das Brennen, ohne selbst brennbar zu sein.

Hans Heinrich: Dann wäre also die Aureole brennendes Stickstoffgas?

Ludwig: So ist es auch.

Hans Heinrich: Du sagst lauter Dinge, die nicht mit dem übereinstimmen, was ich in der Schule gelernt habe. Stickstoff brennt doch nicht? Ich habe doch selbst gesehen, wie unser Chemielehrer eine brennende Kerze auslöschte, indem er sie in eine Flasche voll Stickstoffgas tauchte?

Ludwig: Das ist alles richtig und wahr, aber meine Behauptung ist auch richtig. Der Stickstoff brennt nämlich erst bei der großen Hitze des elektrischen Funkens, während ihn die geringe Hitze einer brennenden Kerze nicht entzünden kann.

Hans Heinrich: Wieviel Grad Hitze hat denn der elektrische Funke?

Ludwig: Man schätzt seine Hitze auf etwa 4000 Grad.

Hans Heinrich: Wie kommt man zu dieser Schätzung? Gibt es Thermometer für solche hohe Hitzegrade?

Ludwig: Nein, nein! Fast alle Stoffe verwandeln sich bei dieser Temperatur in Dampf, zumal die Metalle; einige Metalle verdampfen sogar schon bei viel niedrigerer Temperatur, z. B. das Zink bei 1000 Grad. Die Metalldämpfe sind alle hell leuchtend und mehr oder weniger lebhaft gefärbt. Zinkdampf ist z. B. blaugrün, Kupferdampf grün, Silberdampf hellblau. Da man dies weiß, war es nicht schwer, zu erkennen, daß der Kern des Funkens aus solchen Metalldämpfen besteht. Er hat stets die Farbe des Dampfes von demjenigen Metall, aus welchem die Enden bestehen, zwischen welchen der Funke überspringt.

Hans Heinrich: Also springen die Funken nur zwischen solchen Stoffen über, welche verdampfen können?

Ludwig: Ja, aber du brauchst deshalb nicht zu glauben, daß es davon nur wenige gibt. Bei dieser furchtbaren Hitze verdampfen nicht bloß alle Metalle, selbst Gold und Platin einbegriffen, sondern auch die Kohle und sogar der Graphit.

Hans Heinrich: Ich habe immer geglaubt, das Leuchtende am Funken sei die Elektrizität!

Ludwig: Nein, die Elektrizität selbst ist völlig unsichtbar für uns.

Hans Heinrich: Also verwandelt sie sich in lauter Wärme in dem Funken?

Ludwig: Ein Teil der Elektrizität wird in Wärme und Licht umgewandelt, ein kleiner Teil von ihr leistet im Funken auch Arbeit, indem sie kleine Hindernisse zur Seite schleudert, sich den Weg durch die Luft bahnt usw.

Hans Heinrich: Und wo bleibt die Hauptmenge, die nach dem Verschwinden des elektrischen Funkens doch nicht mehr zu bemerken ist?

Ludwig: Die Hauptmenge der Elektrizität, welche einen elektrischen Funken begleitet, wird in unsichtbare elektrische Wellen verwandelt und strömt in dieser Form blitzschnell nach allen Seiten hinaus.

2. Die elektrischen Wellen.

Ein Gespräch zwischen den Vorigen.

Hans Heinrich: Ich kann mir gar nicht vorstellen, wie diese elektrischen Wellen zustande kommen und woraus sie eigentlich bestehen.

Ludwig: Alle Wellen kommen in derselben Weise zustande, gleichviel, ob es Wasserwellen, Schallwellen, Lichtwellen oder elektrische Wellen sind. Zwei Voraus-

setzungen sind dazu notwendig: erstens muß ein Stoff da sein, welcher die Wellen bilden kann, zweitens muß eine pendelartig hin- und hergehende (oszillierende) Kraft wirksam sein, welche die Wellen im Stoff erregt. Für die Entstehung der Schallwellen wird diese Kraft zum Beispiel von einer hin- und herschwingenden Seite oder von den schwingenden Schenkeln einer Stimmgabel geliefert. Für die Wasserwellen kann ein Holzklotz, welcher im Wasser auf- und abpendelt, die Kraft für die Wellenbildung abgeben. Für die elektrischen Wellen stammt die Erregungsarbeit (jede wirkende Kraft leistet Arbeit) vom Funken.

Hans Heinrich: Macht denn der elektrische Funke eine hin- und herpendelnde Bewegung?

Ludwig: Allerdings, denn jeder elektrische Funke besteht aus einer ungeheueren Anzahl (mehreren Tausenden) von elektrischen Einzel-Entladungen, welche fortwährend ihre Richtung wechseln und dabei immer schwächer werden, bis die letzte nicht mehr stark genug ist, die Luft zu durchbrechen. Das Ganze geht so furchtbar schnell vor sich, daß unser Auge und Ohr die letzte Entladung ganz gleichzeitig mit der ersten wahrnehmen, weil unsere stumpfen Sinne so ungeheuer rasche Bewegungen nicht mehr unterscheiden können.

Hans Heinrich: Aber sage mir nur: wie ist dies möglich? Warum macht jeder elektrische Funke diese Pendelbewegungen?

Ludwig: Dies wirst du leicht einsehen, wenn du recht acht gibst: man kann sagen, daß in demselben Augenblick, in welchem ein Funke zwischen zwei Leitern überschlägt, ein Strom geschlossen wird. Der Funke ist es eben, der den Strom schließt. Vorher waren beide Pole durch einen Luftzwischenraum getrennt, aber stark

elektrisch geladen: der Strom war geöffnet. Wenn ein Strom in einer Bahn rasch geschlossen wird, so erregt er sich in seiner eigenen Bahn einen entgegengesetzt gerichteten Induktionsstrom. Dieser hebt den ersten Strom sofort in seiner Wirkung auf und unterbricht ihn, so daß die Strombahn wieder geöffnet wird. Nun ist dir wohl bekannt, daß beim Öffnen eines Stromkreises ebenfalls ein Induktionsstrom, aber von gleicher Richtung, in der Strombahn erregt wird. Dieser bewirkt sofort wieder eine Funkenbildung, welche die Strombahn schließt. Nun tritt wieder das Gleiche ein, was vorhin beim ersten Stromschluß erfolgte — kurz, die Ströme und Funken wechseln blitzschnell ihre Richtung und Stärke infolge der Induktion im eigenen Stromkreis, die wir früher[1]) als Selbstinduktion bezeichnet haben. Das Spiel müßte so in alle Ewigkeit fortdauern, wenn nicht bei jedem Teilfunken ein Teil der Elektrizität in Wärme, Licht und Arbeit verwandelt würde, so daß der Rest immer schwächer wird und schließlich nicht mehr ausreicht, um die Luftstrecke zu durchschlagen.

Hans Heinrich: Das klingt ja ganz unglaublich! Hat man dieses alles nur errechnet, oder auch durch den Versuch bewiesen?

Ludwig: Man hat durch Versuche nachgewiesen, daß jede Funkenentladung aus einer ungeheueren Anzahl einzelner Funken besteht. Der Nachweis ist sehr leicht: man braucht eine solche Funkenentladung nur in einem rotierenden Spiegelkasten zu betrachten: das ist ein viereckiger Kasten, um eine senkrechte Achse schnell drehbar, dessen vier seitliche Flächen mit Spiegelglas belegt sind. Darin erblickt man dann statt des einen Funkens eine

[1]) „Die Elektrizität im täglichen Leben" im gleichen Verlag. Preis 40 Pf.

große Anzahl von Funkenbildern nebeneinander, weil sich der Spiegel in der Pause zwischen den einzelnen Oszillationen des Funkens immer um ein kleines Stückchen gedreht hat. Man sieht in diesem Apparat auch, daß die letzten Entladungsbilder kleiner und schwächer sind als die ersten, weil — wie schon erwähnt — die elektrische Energie durch die Wärme-, Licht- und Arbeitsbildung vermindert wird.

Hans Heinrich: Dies ist mir alles ganz neu. Aber ich verstehe nun auch, warum das Loch in einer Postkarte, welches man durch den Funken einer Leidener Flasche erzeugen kann, auf beiden Seiten aufgeworfene Ränder zeigt.

Ludwig: Ganz richtig, dies erklärt sich ebenfalls aus der Zusammensetzung dieser Funkenentladung aus lauter einzelnen, hin- und herpendelnden Oszillationen.

Hans Heinrich: Nun verstehe ich aber noch nicht, wie aus den Oszillationen die elektrischen Wellen werden.

Ludwig: Das erfolgt genau so, wie wenn du einen langen ausgespannten Strick, etwa ein Schiffstau oder eine dicke Wäscheleine, in der Nähe des einen Endes mit der Hand anfassest und tüchtig hin- und herschüttelst: dann wirst du bei jeder Bewegung eine Welle über den Strick dahinlaufen sehen.

Hans Heinrich: Ich habe dies auch schon beobachtet. Aber ich weiß nicht recht, wie die Wellen zustande kommen.

Ludwig: Ich will es dir an einer Zeichnung erklären. Stelle dir vor, diese gerade Linie AB (Fig. 1) wäre ein langer, gerade ausgespannter Gummischlauch. Wenn du nun mit der Hand oder mit einem Stock in der Richtung des Pfeiles a an den Schlauch schlägst, so entsteht sofort eine Welle mit einem Wellenberg und

einem Wellental, welche schnell in der Richtung der Pfeile b über den Schlauch dahineilt.

Um zu verstehen, wie sich diese Welle bildet und warum sie so eilig dahinläuft, denken wir uns auf den Schlauch in lauter gleichen Abständen die Punkt 1, 2, 3 .... gezeichnet; wir wollen uns vorstellen, wie sich diese einzelnen Punkte verhalten gegen deinen Schlag, der gerade auf den Punkt 5 trifft. Also: Punkt 5 natürlich wird durch die Wucht des Anpralls bis zur Stelle 5" getrieben; er würde vielleicht noch weiterfliegen, wenn er nicht mit seinen Nachbarpunkten durch Gummi verbunden wäre. Die Nachbarpunkte 4 und 6 rühren sich nicht sofort auf den Schlag, sondern folgen dem Punkt 5 erst dann nach, wenn dieser bis 5′ gekommen ist und die Spannung des Gummis zwischen dem bewegten Punkt 5 und seinen trägen Nachbarn 4 und 6 anfängt, für

Abb. 1. Die Entstehung und Fortpflanzung der Wellen.

diese unerträglich zu werden. Je schwerer diese Punkte sind, also je dicker der Schlauch ist, umso langsamer folgen sie dem Stoß, da die Trägheit eine charakteristische Eigenschaft der schweren Massen ist. Umgekehrt bewegen sich die schwingenden Punkte um so schneller, je leichter sie sind.

Wenn der Punkt 5 nach dem Ort 5″ gekommen ist, hat er seine Wucht verloren, bleibt einen Moment still stehen und schwingt dann wieder zurück unter dem Einfluß der Spannung des Schlauchs. Dasselbe tun die Punkte 1—4, da sie ohnehin in der Befestigung des Schlauchendes A ein Hindernis ihrer Beweglichkeit finden. Anders verhalten sich die Punkte 6—9. Sie haben die Bewegung nach oben angefangen und sind durch keine Befestigung aufgehalten und setzen daher infolge der ihnen innewohnenden Trägheit die Bewegung solange fort, bis sie gleich dem Punkt 5 durch die Spannung des Schlauches zur Umkehr genötigt werden. So kommt es, daß die Punkte 6, 7, 8, 9 .... nacheinander die Höhe des Punktes 5″ erreichen, um dann sofort wieder umzukehren und zurückzuschnellen. Natürlich bleiben sie dann nicht in der Ruhelage AB liegen, sondern sie schnellen infolge ihrer Wucht und Trägheit über diese Ruhelage hinaus nach der entgegengesetzten (unteren) Seite. Dort wiederholt sich derselbe Vorgang. So kommt es, daß der Beschauer einen Wellenberg in der Richtung des Pfeiles b hinlaufen sieht, hinter welchem ganz dicht anschließend ein Wellental nachfolgt. Beide zusammen, Berg und Tal, bilden eine ganze Welle.

Hans Heinrich: Dies habe ich wohl verstanden.

Ludwig: Das freut mich. Wenn es so ist, wirst du mir leicht sagen können, welchen Weg der Punkt 5 gemacht hat, wenn die erste ganze Welle zustande gekommen ist?

Hans Heinrich: Wenn ich diejenige Welle betrachte, welche im Punkt A ihren Anfang nimmt (ACDEF), so hat der Punkt 5 gerade eine vollständige Auf- und Abbewegung ausgeführt und ist in die Ruhelage zurückgekehrt, wenn die ganze Welle mit Berg und Tal fertig ist.

Ludwig: Ganz richtig. Diese vollständige Auf- und Abbewegung des Punktes 5 nennt man eine ganze Schwingung. Wir haben also das wichtige Gesetz gefunden, daß eine ganze Schwingung genau solang dauert, als eine ganze Welle zu ihrer Bildung Zeit braucht.

Hans Heinrich: Also läuft auch der Gipfel eines Wellenbergs während einer ganzen Schwingung um eine Wellenlänge vorwärts!

Ludwig: Ja, und du wirst dir leicht vorstellen können, welchen Einfluß es auf die Wellenlänge hat, wenn die Wellen sehr schnell laufen?

Hans Heinrich: Je schneller die Wellen laufen, umso weiter kommen sie während einer Schwingung des Punktes 5; also wird dadurch die Wellenlänge größer?

Ludwig: Ganz richtig. Die Wellenlänge wächst also mit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Dagegen nimmt sie ab mit der Schwingungsdauer der schwingenden Punkte.

Hans Heinrich: Was ist die Schwingungsdauer?

Ludwig: Das ist die Zeit, welche der Punkt 5 zu einer ganzen Hin- und Herschwingung braucht. Wenn dieser Punkt zum Beispiel in der Sekunde 3 Schwingungen vollführt, so braucht er zu jeder einzelnen Schwingung $^1/_3$ Sekunde. Dies ist seine Schwingungsdauer.

Hans Heinrich: Wenn die Schwingungsdauer recht klein ist, kann natürlich auch die Welle nur kurz werden, welche in dieser Zeit entsteht.

Ludwig: So ist es. Die Wellenlänge wird größer, wenn Fortpflanzungsgeschwindigkeit und Schwingungsdauer wachsen, und sie wird kleiner, wenn beide oder eine von beiden abnehmen. Also können wir die Formel aufstellen:

Wellenlänge = Fortpflanzungsgeschwindigkeit × Schwingungsdauer.

Hans Heinrich: Ich verstehe wohl die Überlegung, welche uns zu dieser Formel geführt hat. Aber ich kann mir nicht denken, daß man die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen und die Schwingungsdauer der Teilchen eines Gummischlauchs nach Belieben verändern kann?

Ludwig: Bei einem Gummischlauch kann man allerdings diese beiden Eigenschaften ändern, indem man den Schlauch mehr oder weniger stark spannt. Auch bei gespannten Metalldrähten, Klavier- und Violinsaiten werden die Wellen umso kleiner, je stärker die Spannung ist. Aber unser Gesetz gilt nicht bloß für die Wellen eines Gummischlauchs, sondern für jede mögliche Art der Wellenbewegung.

Hans Heinrich: Also auch für die Meereswellen und die Schallwellen in der Luft?

Ludwig: Jawohl, und ebenso für die Lichtwellen und die elektrischen Wellen.

Hans Heinrich: Das Licht besteht auch aus einer Wellenbewegung? Das kann wohl nicht gut möglich sein!

Ludwig: Warum denn nicht?

Hans Heinrich: Weil das Licht doch ebensogut durch feste Stoffe, wie Glas, dringt, als durch die Luft. Wenn es eine Wellenbewegung wäre, so müßte doch ein fester und zugleich elastischer Stoff durch seine Schwingungen die Wellen erzeugen, wie vorhin unser Gummischlauch.

Aber ein fester und zugleich elastischer Stoff kann doch nicht das Glas und die Luft durchdringen, ohne daß wir etwas davon merken?

Ludwig: Es ist aber doch wahrscheinlich so, obgleich dies ganz unglaublich erscheint, solange man nicht genau darüber nachdenkt. Wir haben wirklich bestimmte Anzeichen dafür, daß ein fester, elastischer Stoff die Poren des Glases und der Luft und aller durchsichtigen Körper erfüllt.

Hans Heinrich: Das müßte aber ein furchtbar feiner Staub sein; denn das Glas ist doch so vollkommen dicht, daß selbst eine ganz dünnwandige Glühlampe keine Luft hindurchsickern läßt. Dieser Stoff müßte allerdings so federleicht sein, daß wir ihn vielleicht nicht einmal mit den feinsten chemischen Wagen erkennen würden.

Ludwig: Das hätte nicht viel zu bedeuten, da selbst unsere feinsten Wagen verhältnismäßig so plumpe Instrumente sind, daß sie uns einen Stoff, den wir längst mit der Nase gerochen haben, noch nicht verraten können. Dabei ist zu bedenken, daß unsere Nase noch unempfindlich ist, verglichen mit der eines Hundes.

Hans Heinrich: Ich sehe ein, daß ein solcher feiner Stoff vielleicht denkbar ist.

Ludwig: Die Lichtwellen sind so eigentümlich beschaffen, daß sie nur von einem außerordentlich feinen und leichten Stoff durch Schwingungen erzeugt und von ihm in die Ferne getragen werden können. Erinnere dich daran, daß wir vorhin festgestellt haben, daß der Gummischlauch Wellen von geringer Geschwindigkeit gibt, wenn er schwer ist, dagegen Wellen von größerer Geschwindigkeit, wenn er leicht ist. Man kann leicht durch Versuche feststellen, daß jeder Körper um so rascher schwingt, je leichter er ist. Dies kann man z. B. leicht

erkennen, wenn man ein Glas mit Schwefelsäure, ein zweites mit Wasser und ein drittes mit leichtem Benzin füllt und die Oberfläche der drei Flüssigkeiten durch Erschütterung der Gläser zur Wellenbildung nötigt; oder wenn man mit einem schweren Schiffstau und mit einem gespannten Draht Seilwellen erzeugt. Nun kehren wir unseren Schluß um und sagen: wenn wir von einer Wellenbewegung ganz bestimmt wissen, daß sie eine ungeheuere Fortpflanzungsgeschwindigkeit hat, so muß der wellenbildende Stoff sehr leicht sein.

Hans Heinrich: Wie groß ist die Geschwindigkeit des Lichts?

Ludwig: Sie beträgt in einer Sekunde 297 Millionen Meter.

Hans Heinrich: Dann freilich kann es nur ein leichter Stoff sein, der die Lichtwellen bildet. Wie lang sind die Lichtwellen?

Ludwig: Die längsten sind $^1/_{1800}$ Millimeter, die kürzesten $^1/_{3700}$ Millimeter lang.

Hans Heinrich: Wie nennt man denn diesen unbekannten Stoff, der die Lichtwellen trägt und bildet?

Ludwig: Man nennt ihn den Äther oder Weltenäther, weil er wahrscheinlich den ganzen Weltenraum erfüllt und auch in den feinsten Poren der irdischen Stoffe enthalten ist. Auch im luftleeren Raum ist er vorhanden, denn das Licht scheint durch eine luftleere Röntgenröhre oder Glühlampe ebensogut, wie durch die Luft selbst.

Hans Heinrich: Es gibt auch eine Flüssigkeit von feinem Geruch nach Apotheke, die man Äther heißt: sie hat natürlich nichts mit dem Lichtäther zu tun?

Ludwig: Nein, die Namen stimmen zufällig über-

ein. Der Weltenäther ist nicht bloß der Träger der Lichtwellen, sondern auch der elektrischen Wellen.

Hans Heinrich: Also haben die elektrischen Wellen dieselbe Geschwindigkeit, wie die Lichtwellen?

Ludwig: Genau die gleiche!

Hans Heinrich: Haben sie auch dieselbe Länge?

Ludwig: Nein. Das kann natürlich nicht sein, weil sonst gar kein Unterschied bestünde zwischen Licht und elektrischen Wellen. Die elektrischen Wellen sind meistens viele Meter lang, aber sie können in fast jeder gewünschten Länge erzeugt werden.

Hans Heinrich: Wie macht man dies?

Ludwig: Genau so, wie beim Gummischlauch. Will man kurze Schlauchwellen haben, so schüttelt man den Punkt 5 (Abb. 1) mit der Hand recht schnell hin und her; je kürzer die Schwingungsdauer, um so kürzer werden die Wellen. An Stelle der Hand, welche den Gummischlauch schüttelt, dienen bei der Erzeugung elektrischer Wellen die Oszillationen des elektrischen Funkens. Sie sind es, die den Weltenäther zum Erzittern bringen, so daß von der Funkenstelle aus nach allen Himmelsrichtungen elektrische Wellen laufen.

Man erhält also lange elektrische Wellen, wenn der Funke eine geringe Anzahl von Oszillationen macht, während Funken von großer Schwingungszahl kurze Wellen liefern.

Hans Heinrich: Es fragt sich also bloß: wie kann ich die Schwingungszahl meines Funkens verändern?

Ludwig: Auch diese Frage ist leicht zu beantworten. Damit überhaupt ein Funke entsteht, müssen bekanntlich (vgl. das Doppelbändchen „Elektrizität") zwei isolierte Leiter einander genähert werden, welche verschieden hohe Ladungen von Elektrizität enthalten. Der höher ge-

ladene positive Leiter gleicht mit seinem Ladungsüberschuß die Spannung aus, welche ihn von dem schwächer geladenen negativen Leiter unterschied. Als Leiter benützt man gewöhnlich zwei gleichgroße Metallkugeln. Je größer diese nun sind, um so länger dauert es, bis der Ausgleich der Spannung erfolgt ist — gerade wie bei einer Sanduhr, die um so länger läuft, je größer ihre beiden Kugeln sind. Daraus geht hervor, daß ich mit kleinen Entladerkugeln kurze, mit großen Entladerkugeln lange elektrische Wellen erhalten muß. Man drückt dies etwas gelehrter mit den Worten aus: **Je größer die Kapazität (das Aufnahmevermögen) der Konduktoren (Leiter) ist, um so kleiner ist die Oszillationszahl der Funken, um so größer ist die Länge der elektrischen Wellen.**

Hans Heinrich: Die beiden geladenen Kugeln geben aber doch nur einen einzigen Funken (von dem wir allerdings gehört haben, daß er aus sehr vielen Oszillationen besteht), dann sind sie entladen und ich kann keine elektrischen Wellen mehr erzeugen, bevor ich sie von neuem geladen habe.

Ludwig: Das ist ganz richtig; aber das Aufladen der Kugeln geschieht fortdauernd dadurch, daß sie mit den beiden Polen eines Induktors verbunden werden (vgl. die „Elektrizität"). Eine solche Zusammenstellung von zwei Konduktoren K K mit einem Funkeninduktor J und einer Batterie B zur Speisung des Induktors (Abb. 2) nennt man die Sendestation. Von ihr aus gehen die elektrischen Wellen nach allen Himmelsrichtungen. Für größere Sendestationen ist es zweckmäßig, die beiden Kugeln K K auf die Enden eines weiten und kurzen Hartgummirohrs R R zu setzen und dieses dann mit Petroleum oder Paraffinöl zu füllen. In diesem

Fall verbrennen die Metallstellen, zwischen welchen die Funken überschlagen, nicht so stark wie in Luft. Für ganz große Stationen ist aber auch diese Vorrichtung nicht ausreichend stark, um das ungeheuere Funkengeprassel ohne Verbrennungen zu ertragen; man läßt bei solchen großen Anlagen die Funken zwischen Metallringen überschlagen, welche parallel zueinander in be-

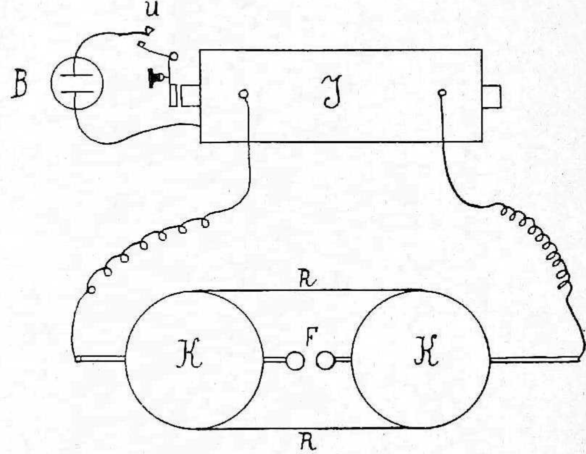


Abb. 2. Einfache Sendestation für drahtlose Telegraphie.

stimmten und gleichen Abständen wie die Ringe eines Baumkuchens zu einer Säule aufgebaut sind.

Hans Heinrich: Womit erkennt man denn, ob in einem Raume elektrische Wellen laufen? Sie sind doch nicht fühlbar und haben auch keinen Einfluß auf die Magnetnadel, soviel ich weiß?

Ludwig: Nein, sie sind für die menschlichen Sinne nicht wahrnehmbar und können auch mit den zum Nach-

weis der fließenden Elektrizität gebräuchlichen Apparaten nicht erkannt werden. Es war eine zufällige Entdeckung des französischen Forschers Branly, daß ein Häufchen Eisenfeilspäne, welches für gewöhnlich dem Strom eines galvanischen Elements einen großen Widerstand entgegensetzt, sofort gut leitend wird, wenn es von den Wellen getroffen wird. Statt Eisen benützt man noch besser Nickel- oder Silberfeilspähne, welche man in ein Stückchen Glasrohr zwischen zwei Elektroden bringt (Abb. 3). Diese Vorrichtung nennt man den Fritter. Man schaltet ihn (Abb. 4, F) mit einem Element E und einer Klingel K in einen Stromkreis. Sobald elektrische Wellen auf den Fritter treffen, wird der Stromkreis des Elementes geschlossen und die Klingel ertönt.

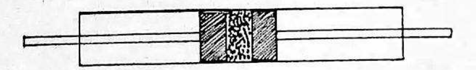


Abb. 3. Der Fritter.

Hans Heinrich: Wie erklärt sich dieses sonderbare Verhalten der Metallspähne im Fritter?

Ludwig: Man vermutet, daß sich beim Auftreffen elektrischer Wellen auf die Metallspähne zwischen diesen kleine Fünkchen bilden, welche sie miteinander lose verschmelzen (zusammen-„fritten"). Wenn man nämlich an den leitend gewordenen Fritter klopft, so verliert er seine Leitfähigkeit sofort wieder.

Hans Heinrich: Wenn man also nach dem Auftreffen elektrischer Wellen nicht an den Fritter klopft, tönt die Klingel immerfort solange, als das Element Strom gibt?

Ludwig: Ja. Um diesen Übelstand zu beseitigen, befestigt man den Fritter dicht neben dem Klöppel der

Klingel; sobald sie dann ertönt, wird auch der Fritter erschüttert. Infolge dessen ertönt die Klingel nur so lange, als sie von elektrischen Wellen getroffen wird.

Hans Heinrich: Gibt es noch andere Apparate, um die elektrischen Wellen zu erkennen?

Ludwig: Ja, und zwar noch bedeutend empfindlichere. Man nennt sie Detektoren, d. h. „Entdecker" des Vorhandenseins elektrischer Wellen. Der Detektor von Schlöhmilch beruht darauf, daß die elektrischen Wellen den Polarisationsstrom in einer Zersetzungszelle schwächen oder ganz aufheben, wenn man nur dafür sorgt, daß die Stromdichte eine sehr große ist. Man erreicht dies leicht, indem man die Elektroden sehr klein macht.

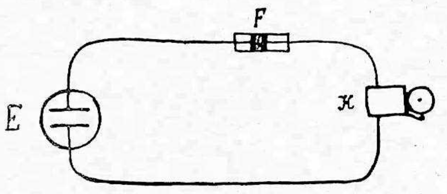


Abb. 4. Einfachster Empfänger-Stromkreis.

Man taucht in ein Glasgefäß voll verdünnter (fünfprozentiger) Schwefelsäure zwei dünne Platindrähte, von welchen der eine bis zum Ende von einer engen Glasröhre umhüllt ist. Die oberen Enden der Platindrähte werden mit einem Element und einem Telephon zu einem Stromkreis verbunden. Sobald die Zersetzungszelle von elektrischen Wellen getroffen wird, hört man im Telephon ein Geräusch, weil im Stromkreis Schwankungen eintreten. Sie rühren daher, daß die elektrischen Wellen den Polarisationsstrom der Zersetzungszelle vernichten.

Man kann auch das Element und den Detektor ver-

einigen, indem man den einen Platindraht des Detektors durch einen Zinkstab ersetzt. Der Platindraht darf dann nur $^1/_{10}$ Millimeter dick sein und aus dem Glasrohr nur mit seinem Querschnitt in die Säure herausragen. Dies erreicht man dadurch, daß man den Platindraht mit dem Ende des Glasrohrs zusammenschmilzt und dann seinen Querschnitt durch Abfeilen der Glasspitze bloßlegt.

Hans Heinrich: Warum arbeitet dieser Detektor nur bei so hoher Stromdichte?

Ludwig: Weil die elektrischen Wellen meist nur eine ungeheuer schwache Wirkung auszuüben vermögen. Da nun die Spannung des Polarisationsstroms stets etwa 2,6 Volt beträgt und nicht von der Größe der Elektroden abhängt, so ist auch der winzige Querschnitt des Platindrahts mit dieser Spannung geladen; man kann sich wohl vorstellen, daß es für die elektrischen Wellen leichter ist, die Spannung auf dieser kleinen Fläche zu verändern, als auf einer größeren Metallplatte.

Hans Heinrich: Warum üben die elektrischen Wellen nur eine so schwache Wirkung aus?

Ludwig: Weil sie von einem Punkt aus nach allen Richtungen des Raumes strahlen, so müssen sie mit zunehmender Entfernung immer schwächer werden. Außerdem liegt es in der Aufgabe des Wellendetektors, die allergeringsten Spuren von elektrischen Wellen nachzuweisen.

3. Antennen.

Mit den bisher beschriebenen Apparaten gelingt es nicht, elektrische Wellen auf größere Entfernungen als etwa 100 Meter zu senden. Sie sind daher praktisch be-

deutungslos und hätten der Telegraphie mit Draht niemals ernstlich Konkurrenz bereiten können, wenn es nicht durch weitere Erfindungen gelungen wäre, die Reichweite der elektrischen Wellen außerordentlich (bis auf mehrere tausend Kilometer) zu erhöhen.

Der erste Schritt auf dem Weg zur Vervollkommnung der drahtlosen Telegraphie war die Erfindung der sogenannten Antennen. Darunter versteht man lange, gerade Drähte, welche auf Gerüsten isoliert in die Luft hinaufragen, etwa wie die Blitzableiter zum Schutz der alpinen Unterkunftshütten. Wird ein solcher Draht, der nirgends die Erde berühren darf, mit einer von den beiden Kugeln der Funkenstrecke F (Abb. 2) verbunden, so zeigt sich, daß nun die elektrischen Wellen viel weiter nachgewiesen werden können, als vorher. Der Sender wird durch die Antenne verstärkt. Noch stärker wird seine Wirkung, wenn die andere Kugel mit der Erde leitend verbunden („geerdet") wird. Aber auch die Empfindlichkeit des Empfängers (Fritters) kann mit demselben Mittel gesteigert werden: man verbindet das eine Ende des Fritters, unbeschadet seiner sonstigen Anschlüsse (Abb. 4), mit einer isolierten Antenne und „erdet" das andere Ende.

Über die Wirkungsweise der Antennen ist bis jetzt wenig genug bekannt. Sicher ist nur das eine, daß die Antenne, obgleich sie um so stärker wirkt, je länger sie ist, doch nicht beliebig lang sein darf. Sie muß vielmehr gerade $^1/_4$ von der Länge der erzeugten elektrischen Wellen haben, wenn sie diese einerseits weit befördern, andererseits fein empfangen soll. Es besteht also eine nachweisbare Beziehung zwischen der Länge der elektrischen Wellen und der Länge der Antennen. Hat man Antennen von 50 Meter Länge, so kann man damit nur

Wellen von 200 Meter Länge vorteilhaft weiter befördern und empfangen. Obgleich diese Erscheinung nicht direkt erklärt werden kann, wird sie doch leichter verständlich, wenn man erfährt, daß auch im Bereich der Schallwellen ähnliche Beziehungen gelten. Klemmt man zum Beispiel einen Stahlstab mit dem unteren Ende in einen Schraubstock ein, so gibt er beim Anschlagen einen Ton. Befestigt man einen solchen Stab auf einem hohlen hölzernen Kasten, so wird sein Ton bedeutend verstärkt, wenn die Höhlung des Kastens viermal so lang ist als der Stab, wenn sie also genau eine halbe Wellenlänge besitzt. Noch besser gelingen diese Versuche mit einer Stimmgabel. Die Erklärung dieses sonderbaren Zusammenstimmens ergibt sich aus folgendem Versuch: hält man die angeschlagene Stimmgabel vor die Öffnung eines viereckigen oder zylindrischen Gefäßes (aus Holz, Glas oder Metall), z. B. an die Mündung eines Glaszylinders, so hört man im allgemeinen kaum eine Verstärkung des Tons. Besitzt aber der innere Hohlraum des Gefäßes genau ein Viertel der Länge der Tonwellen der Stimmgabel, so wird ihr Ton so gewaltig verstärkt, daß man beinahe darüber erschrickt. Da die verfügbaren Gefäße gewöhnlich nicht die passende Länge haben, so verändert man die Länge ihrer Höhlung durch Eingießen von etwas Wasser W (vgl. Abb. 5) so lange, bis die gewünschte Verstärkung des Tons eintritt. Damit hat es nun folgende Bewandtnis: Wenn der untere Stimmgabelast aus der Ruhelage a nach a' schwingt, erteilt er der Luft im Zylinder Z einen so heftigen Stoß, daß eine (durch Strichelung angedeutete) Luftverdichtung V entsteht. Diese läuft mit Schallgeschwindigkeit (330 Meter in jeder Sekunde) in der Richtung des Stoßes nach unten, prallt an der Wasserfläche wie ein Gummiball ab und

kehrt nach oben zurück. Dies dauert eine gewisse Zeit, während welcher der untere Stimmgabelast durch die Ruhelage a nach a" schwingt und wieder bis a zurückkehrt. Nun gibt er der Verdichtung V, welche gerade im Begriff ist, an der Mündung des Zylinders umzukehren, einen neuen Stoß nach unten, welcher ihre ohnehin nach unten gerichtete Bewegung verstärkt. Die Stimmgabel und die Luft im Zylinder schwingen also beide pendelartig hin und her und haben die gleiche Schwingungsdauer und die Luft im Zylinder holt sich

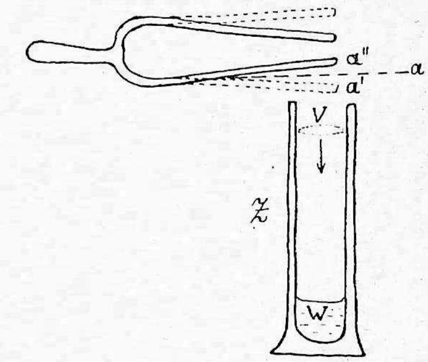


Abb. 5. Die Vorgänge bei der akustischen Resonanz.

von der Stimmgabel immer neue Schwingungswucht, weil die Verdichtungen V, wenn sie an die Zylindermündung zurückkehren, stets einen erheblichen Teil ihrer Wucht an die äußere Luft abgeben, welche dadurch in Schallschwingungen versetzt wird. So kommt dieses laute Tönen zustande, welches man als Resonanz bezeichnet. Ist dagegen der Luftraum des Zylinders zu lang, so trifft die Verdichtung V bei ihrer Ankunft am oberen Zylinderende mit voller Wucht auf den bereits herabschnellenden

Stimmgabelast und durch den Zusammenprall werden beide Bewegungen geschwächt oder vernichtet. Ähnliches findet statt, wenn der Luftraum des Zylinders zu kurz ist. Daß der Zylinder nun gerade den vierten Teil einer Wellenlänge vom Ton der Stimmgabel besitzen muß, hat folgenden Grund. Man hat durch Versuche nachgewiesen, daß die Verdichtung V nicht weniger als *viermal* die Länge des Zylinders Z durcheilen muß, bis sie wieder als Verdichtung am oberen Ende erscheint. Sie wird nämlich bei dem ersten Anprall am geschlossenen unteren Ende des Zylinders in eine *Luftverdünnung* umgewandelt, gleichwie sich etwa ein Gummiball beim Anprall an einer festen Wand hohl einstülpt. Diese Verdünnung läuft zur Mündung des Zylinders zurück und wird hier unverändert, als Verdünnung, zurückgeschleudert, um nach einer dritten Durchwanderung der Zylinderlänge beim zweiten Anprall am unteren Ende wieder als *Verdichtung* nach oben zu eilen und dort als solche zurückgeworfen zu werden. Die Verdichtungen sind nämlich nichts anderes als die *Wellenberge*, die Verdünnungen aber die *Wellentäler* der Schallwellen. Man hat also beobachtet, daß das *geschlossene* Zylinderende jede anprallende Welle umkehrt, also Berg in Tal und Tal in Berg verwandelt, während das *offene* Zylinderende die ankommenden Wellen unverändert zurückschleudert. Wenn man die Zurückwerfung der Wellen eines dicken Seils untersucht, so kann man leicht beobachten, daß ein *festgehaltenes* Seilende die Wellen gleichfalls umkehrt, wie das geschlossene Zylinderende die Schallwellen, und daß ein *lose liegendes* Seilende die Wellen unverändert zurückwirft, wie das offene Zylinderende. Wer den Vorgang an unserer Abbildung 1 verfolgt, wird ihn sich nicht schwer erklären können. —

Nachdem die Verdichtung V die Zylinderlänge viermal durcheilt hat, hat sie also gerade eine ganze Wellenlänge Wegs zurückgelegt. Der Stimmgabelast hat in dieser Zeit, wie man aus der Abbildung 5 erkennt, den Weg von a über a′ und a″ wieder nach a gemacht, also gerade eine *ganze Schwingung*. Während einer ganzen Schwingung entsteht aber, wie wir im 2. Abschnitt erfahren haben, eine ganze Wellenlänge. Also muß in diesem Fall der untere Stimmgabelast mit der Verdichtung V am Beginn jeder neuen Schwingung zusammentreffen.

Abb. 6 u. 7. Die Bildung stehender Wellen.

Man sieht, es handelt sich um einen ziemlich verwickelten Vorgang. Da aber die Antennen auf die elektrischen Wellen gerade so wirken, wie die Resonanzböden auf die Schallwellen, so kann man mit vollem Recht von einer *elektrischen Resonanz* sprechen und kann weiterhin von einer *Abstimmung* der Antennen auf die Länge der elektrischen Wellen sprechen.

Die Übereinstimmung zwischen den Eigenschaften

der akustischen und der elektrischen Wellen geht noch weiter.

Wenn man einen Draht oder eine Saite AB (Abb. 6) an beiden Enden festspannt und in der Mitte durch Zupfen erschüttert, so schwingt er in der Gestalt einer Spindel rasch hin und her. Die Enden A und B schwingen gar nicht, die Mitte a schwingt am stärksten. Man nennt diese Schwingungsform eine stehende Welle, ihre Mitte a nennt man den Schwingungsbauch.

Unterstützt man nun den Draht in der Mitte durch einen untergelegten Holzkeil, den Steg St (Abb. 7) und erschüttert nur die eine Hälfte des Drahtes bei a′, so gerät trotzdem auch die andere Hälfte in Schwingung, als ob sie bei b′ gezupft worden wäre. Die unterstützte Mitte k aber bleibt in völliger Ruhe. Die Schwingungsform besteht also in diesem Fall aus zwei Bäuchen a′ und b′ und dem Punkt k, welchen man Knotenpunkt nennt. Dieser sonderbare Versuch erklärt sich vollständig aus unserem oben abgeleiteten Gesetz, daß jeder Wellenberg beim Auftreffen auf einen festen Punkt in ein Wellental verwandelt wird, und umgekehrt. Der Wellenberg a′ läuft z. B. nach links bis A′, wird hier in ein Tal verwandelt und kehrt in dieser Form als a″ zurück bis zu dem festen Punkt k. Hier wandelt sich das Tal a″ wieder in einen Wellenberg b′ um; die Welle hat also nun die ganze Strecke A′B′ durchlaufen und trifft auf den Punkt B′. Hier wird sie wieder in ein Tal b″ verwandelt, welches auf seinem Weg nach A′ bei k in den Berg a′ verwandelt wird.

Der Ton, welchen der Draht bei dem Versuch Abb. 7 gibt, ist um eine Oktave höher als der Ton im Versuch Abb. 6. Deshalb nennt man die Form der Abb. 6 auch

die Grundtonschwingung und die der Abb. 7 die Oktavenschwingung.

Es ist nun ganz merkwürdig, daß die elektrischen Wellen offenbar ganz ähnliche Schwingungserscheinungen hervorrufen. Man hat nämlich schon lange bemerkt, daß der Fritter die elektrischen Wellen am stärksten anzeigt, wenn er von einem Wellenbauch getroffen wird, während er nur schwach oder gar nicht reagiert, wenn ihn ein Knotenpunkt trifft. Dies ist ja ganz leicht verständlich, wenn man bedenkt, daß der Wellenbauch die Stelle der stärksten Schwingung der Ätherteilchen ist. Befestigt man nun den Fritter der Empfangsstation unten an der Antenne, welche wie ein Blitzableiter in die Luft hinaufragt, so befindet er sich in der Nähe der Befestigungsstelle, an welcher die elektrischen Wellen wahrscheinlich einen Knotenpunkt bilden. Hängt man ihn aber ganz oben an die Spitze der Antenne, die nicht befestigt ist, so können hier die elektrischen Wellen einen freischwingenden Bauch bilden. In der Tat zeigt der Fritter im letztgenannten Fall eine viel stärkere Wirkung, als bei seiner Befestigung am unteren Antennenende. Die Entfernung eines Wellenbauchs vom nächsten Knotenpunkt (oder vom nächsten befestigten Ende, was dasselbe ist) beträgt aber $^1/_4$ Wellenlänge, wie man aus der Abb. 7 leicht sehen kann. A′a′ ist z. B. eine Viertelwellenlänge. Aus dieser Betrachtung eines schwingenden Drahtes verstehen wir also, warum die Antennen nur den vierten Teil von der Länge der elektrischen Wellen haben dürfen.

Die Befestigung des Fritters am oberen Antennenende ist eine ungemütliche Sache, zumal wenn eine solche Antenne 50 oder 100 Meter hoch in die Luft ragt. Um sie zu vermeiden, hat man folgenden Weg eingeschlagen:

Was bei der schwingenden Drahtsaite die Befestigung ist, das ist bei der Antenne die Verbindung mit der Erde. Ein Knotenpunkt entsteht daher im schwingenden Draht, wo er festgehalten wird, und in der Antenne, wo sie mit der Erde verbunden (geerdet) wird. Wenn man also die Antenne nicht am Ende erdet, sondern an einer Stelle zwischen beiden Enden, so bilden sich nicht bloß oberhalb, sondern auch unterhalb der Erdungsstelle elektrische Wellenbäuche; dann befindet sich der am unteren Ende der Antenne befestigte Fritter gleichfalls im Schwingungsbereich eines Wellenbauchs und spricht deshalb kräftiger an. Die untere Antennenhälfte kann dabei entweder horizontal verlegt werden, wie in Abb. 8, oder sie kann sogar ohne Beeinträchtigung ihrer Wirkung auf große Rollen gewickelt werden. Die gestrichelten Linien der Abb. 8 deuten den Schwingungszustand der elektrischen Wellen an; doch darf man dieses Bild nicht allzu wörtlich nehmen, da selbstverständlich der Antennendraht dabei nicht in sichtbare Schwingungen gerät, sondern nur der Äther längs des Drahtes. Die Antenne ist bei k geerdet und horizontal umgebogen; der horizontale Ast trägt am rechten Ende den Fritter, welcher mit dem Element E und einer Klingel oder dgl. hintereinander geschaltet ist.

Die Erfahrung hat gezeigt, daß eine Veränderung der Länge des horizontalen Astes b′ genügt, um den Empfängerkreis (so nennt man die Vorrichtung der Abb. 8) für andere Wellenlängen empfindlich zu machen, ohne daß man die senkrechte Antenne zu verändern braucht. Damit hat man die Möglichkeit gewonnen, mit einer einzigen Antenne Funkensprüche von verschiedenen Wellenlängen aufzufangen. Die Einstellung des Empfängerkreises auf eine bestimmte Wellenlänge nennt man seine Abstimmung.

Die Antennen sehen in Wirklichkeit viel komplizierter aus, als auf unseren Abbildungen. Sie bestehen aus strickleiterartig verbundenen Drähten, welche von der Spitze eines hohen Mastes aus nach mehreren Seiten herabgespannt sind oder die Spitzen von mehreren solchen Masten miteinander verbinden. Es sind also in Wirklichkeit beide Enden der Antenne „fest“ gemacht, aber

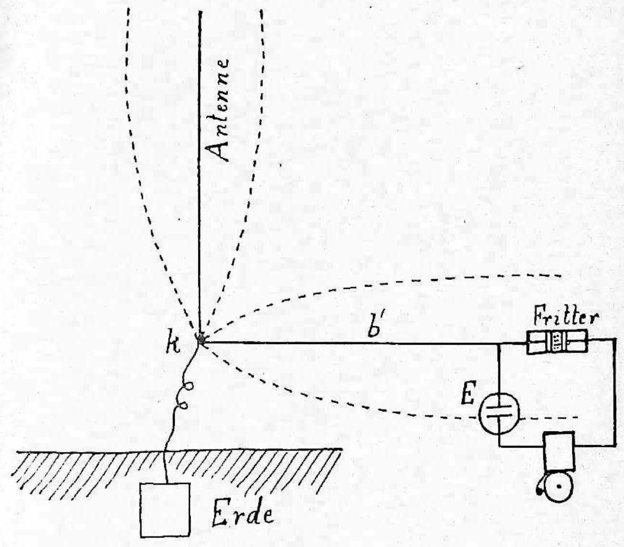


Abb. 8. Abgestimmter Empfänger-Stromkreis.

nur im mechanischen Sinne; im Sinn der Ermöglichung elektrischer Schwingungen ist nur dasjenige Ende „fest“, welches mit der Erde verbunden wurde. Nur diese Verbindungsstelle bildet sich zum Knotenpunkt der elektrischen Wellen aus.

Fassen wir die bisher erwähnten Vorteile der Antennen für die Funkentelegraphie zusammen, so können wir sagen:

1. Die Antennen ermöglichen das Abstimmen der Apparate auf bestimmte Wellenlängen.

2. Die Antennen vergrößern den Wirkungsbereich der Wellentelegraphie sowohl absolut als auch relativ im Verhältnis ihrer Längen.

Diese verstärkende Wirkung der Antennen erklärt sich für die mathematisch Vorgebildeten unter unseren Lesern vielleicht dadurch, daß die in lotrechter Richtung von der Antenne nach allen Seiten ausstrahlenden Wellen sich nur nach zwei Dimensionen ausbreiten, während die von der Funkenstelle radial nach allen Seiten fließenden Wellen sich nach drei Dimensionen verteilen müssen. Die Dichte oder Stärke der Wellen nimmt also, wenn sie von einer Antenne ausgehen, quadratisch mit der Entfernung ab; gehen sie von einem Punkt (Funkenstrecke) aus, so nimmt ihre Dichte dagegen in der 3. Potenz mit der Entfernung ab. Die folgende Tabelle erläutert diese Verhältnisse:

Wellenstärke der elektrischen Wellen:

In der Entfernung von:	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m
vom Antennen-Sender .	1	$^1/_4$	$^1/_9$	$^1/_{16}$	$^1/_{25}$	$^1/_{36}$
vom Funken-Sender . .	1	$^1/_8$	$^1/_{27}$	$^1/_{64}$	$^1/_{125}$	$^1/_{216}$

Dabei bedeutet die Dichte 1 diejenige Anzahl von elektrischen Wellen, welche in der Entfernung von 1 Meter vom Sender eine bestimmte Fläche, z. B. diejenige von einer Seite dieses Büchleins, treffen würden, vorausgesetzt, daß man diese Fläche genau senkrecht zur Verbindungslinie mit dem Sender hält.

Man erkennt aus dieser Tabelle, daß die Stärke der elektrischen Wellen mit der Entfernung geradezu reißend abnimmt. Aus diesem Grunde muß man mit außerordentlich großen Elektrizitätsmengen arbeiten, wenn man auf größere Entfernungen drahtlos telegraphieren will. Wir wollen uns daher im nächsten Abschnitt mit denjenigen Veränderungen des Sende- und Empfangsapparats befassen, welche getroffen werden mußten, um die Verwendung größerer Elektrizitätsmengen zu ermöglichen.

4. Kapazität und Selbstinduktion.

Wir lernten bereits im zweiten Abschnitt dieses Büchleins die Tatsache kennen, daß jeder elektrische Funke aus einer mehr oder minder großen Anzahl pendelartig oszillierender Entladungen besteht. Wir erkannten ferner, daß die Ursache, aus welcher der Entladungsstrom fortwährend seine Richtung wechselt, in der Hervorrufung von Induktionsströmen in der eigenen Strombahn zu suchen ist, in der sogenannten Selbstinduktion der Leiter. Obgleich nun über diese merkwürdige Erscheinung bereits in dem Bändchen „Elektrizität" das Nötige gesagt wurde, wird es doch gut sein, auch hier einige Erläuterungen zu geben. Die Selbstinduktion tritt am auffälligsten in Erscheinung, wenn man den Strom einer mittleren Akkumulatorenbatterie von 4—6 Volt Spannung durch eine Spule schließt, welche man aus 20 Meter Kupferdraht von 2 mm Stärke (mit Baumwolle-Isolierung; sog. Dynamodraht) um ein 3 cm dickes und 20 cm langes Bündel von lackierten, 1 mm starken Eisendrähten gewickelt hat. Während man nämlich beim Schließen des Stroms keine Spur eines Funkens bemerkt, tritt beim Öffnen ein solcher in großer, glänzender Ge-

stalt auf. Im Augenblick des Schließens erregt nämlich der Akkumulatorenstrom, während er durch eine Windung der Spule fließt, in jeder benachbarten Windung einen entgegengesetzt gerichteten Strom, der ihn bis zur Vernichtung schwächt und erst nach einer gewissen Zeit (Bruchteile einer Sekunde) vom Akkumulatorenstrom bewältigt wird. Im Moment des Schließens wirkt daher die Spule auf den Akkumulatorenstrom wie ein Widerstand. Beim Öffnen wird dagegen ein gleichgerichteter Induktionsstrom in den benachbarten Windungen erregt, welcher somit den sogenannten Primärstrom der Akkumulatoren lebhaft verstärkt und die Funkenbildung bewirkt. Wir wollen uns nun fragen, was eintritt, wenn man die Verbindung zwischen den Akkumulatoren und der Spule sehr oft, etwa 100000mal in einer Sekunde, unterbricht. Der nächstliegende Gedanke wäre, daß die Stromschwächung beim Schließen durch die Stromverstärkung beim Öffnen ausgeglichen wird, so daß überhaupt keine besondere Erscheinung bemerkt würde. In Wirklichkeit ist es ganz anders. Beim Schließen braucht nämlich der primäre Akkumulatorenstrom Zeit, um den gegnerischen Induktionsstrom niederzuwerfen. Nehmen wir an, er braucht dazu $^1/_{50000}$ Sekunde. Dann ist er mit seiner Arbeit noch nicht halb fertig, wenn die erste Unterbrechung nach $^1/_{100000}$ Sekunde eintritt. Infolgedessen kann diese Unterbrechung keinen bedeutenden Öffnungsfunken geben, da der Strom in der Tat noch gar nicht richtig geschlossen war. Nun folgt die zweite Stromschließung, bei der sich derselbe Vorgang wiederholt. Auch hier tritt der Schließungswiderstand am bemerkbarsten auf, während die Verstärkung beim Öffnen nicht zur Geltung kommen kann; das gleiche Bild wiederholt sich bei allen Unterbrechungen. Der Er-

folg ist also, daß eine dickdrähtige Spule, welche einem ununterbrochenen Gleichstrom keinen nennenswerten Widerstand bietet, für einen rasch unterbrochenen Gleichstrom ein unübersteigliches Hindernis bildet. Deshalb nennt man eine solche Spule Drosselspule, weil sie gleichsam den Strom abdrosselt. Freilich darf man bei einer Unterbrechungszahl, welche 2—3000 in einer Sekunde übersteigt, keinen Eisenkern in der Spule haben, weil das Eisen seinen Magnetismus nicht so rasch verlieren und wieder annehmen kann und dadurch hemmend auf die Entstehung der Schließungsströme wirken würde.

Die Selbstinduktionserscheinungen bestehen also in der Drosselung und im Öffnungsfunken. Beide treten auch in geraden Leitern auf; es ist also gar nicht nötig, den Draht spiralförmig auf eine Spule zu wickeln, obgleich dies die Wirkungen bedeutend verstärkt. Es ist sogar wahrscheinlich, daß überhaupt die ganze Funkenbildung, welche beim Öffnen eines geschlossenen Stromkreises (z. B. eines geschlossenen galvanischen Elements) auftritt, durch die Selbstinduktion in den Leitungsdrähten und Elektroden bedingt ist. Man hat versucht, die Geschwindigkeit zu messen, mit welcher sich die Elektrizität durch Leitungsdrähte fortpflanzt. Fizeau fand 96000, Werner v. Siemens etwa 200000 km in der Sekunde. In Wahrheit kann es kaum einem Zweifel unterliegen, daß sich die Elektrizität mit der Geschwindigkeit des Lichts, nämlich mit 297000 km pro Sekunde, fortbewegt. Wahrscheinlich wirkt die Selbstinduktion in den Leitungen im Augenblick des Schließens drosselnd und dadurch verzögernd auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit, woraus sich eben die verschiedenen Ergebnisse jener Forscher verstehen lassen.

Auch der Sender in der drahtlosen Telegraphie ist

nichts anderes, als eine Strombahn, welche fortwährend geöffnet und wieder geschlossen wird. Die Größe der Selbstinduktion dieser metallischen Strombahn ist daher maßgebend für die Geschwindigkeit ihrer Entleerung: eine große Selbstinduktion verzögert die Funkenentladung und verringert die Anzahl der Oszillationen des Funkens.

Obgleich also die Selbstinduktion die Ursache der pendelnden Entladung ist, wirkt sie zugleich einschränkend auf die Anzahl der Pendelbewegungen.

Im zweiten Abschnitt über die elektrischen Wellen lernten wir noch einen zweiten Umstand kennen, welcher verzögernd auf die Pendelschwingungen des Funkens wirkt: das Fassungsvermögen oder die Kapazität der Leiter, zwischen welchen der Funke überspringt. Gleichwie sich das Wasser aus einem großen Behälter langsamer entleert als aus einem kleinen, so braucht auch die Elektrizität auf großen Leitern mehr Zeit zum Ausgleich als sie erfordert, wenn sie von kleinen Leitern getragen wird. Wir können also das Grundgesetz der drahtlosen Telegraphie so formulieren: **Je größer Kapazität und Selbstinduktion des Senders sind, um so langsamer erfolgen die Oszillationen des Funkens.** Da wir aber in dem vorhin genannten Abschnitt auch bereits den Beweis geführt haben, daß langsame Oszillationen lange elektrische Wellen erzeugen, so können wir ergänzend hinzufügen: **und um so langer werden die elektrischen Wellen.**

Der etwas kompliziertere mathematische Ansdruck für dieses Gesetz kann hier füglich wegbleiben. — Aus diesem Gesetz können wir eine interessante und wichtige Folgerung ableiten: wir haben am Ende des vorigen Kapitels erkannt, daß die Funkentelegraphie auf große

Entfernungen mit großen Elektrizitätsmengen arbeiten muß. Große Elektrizitätsmengen erfordern natürlich große Sendeapparate von hoher Kapazität. Infolgedessen muß die Funkentelegraphie auf große Entfernungen auch mit langen elektrischen Wellen, von etwa 200 bis 1000 Meter Länge, arbeiten. Wer das Spiel der Wellen auf hohem Meere schon einmal beobachtet hat, wird darin einen Vorteil erkennen: denn große

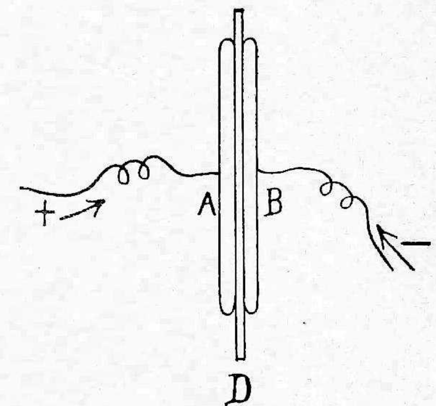


Abb. 9. Plattenkondensator.

Wellen überwinden weite Wege mit geringerem Verlust (an Energie) als kleine Wellen.

Die Aufspeicherung so großer Elektrizitätsmengen bis zum Funkenausgleich kann nicht auf Metallkugeln erfolgen, da diese sonst einen zu großen, unhandlichen Durchmesser bekommen würden. Man benützt dazu verschiedene Formen des sogenannten Kondensators.

Der Kondensator (Abb. 9) besteht aus zwei Metallflächen A und B, zwischen welchen sich eine Platte D

aus isolierender Masse (Glas, Glimmer, Paraffin, Hartgummi) befindet. Unsere Abbildung 9 gibt dies im Querschnitt wieder und zeigt die Metallplatten von großer Dicke, damit man die einzelnen Vorgänge besser verfolgen kann. In Wirklichkeit macht man aber diese Platten aus ganz dünnem Metall, und zwar gewöhnlich aus 0,1—0,3 mm starker Zinnfolie (Stanniol), welche von beiden Seiten auf eine Glasplatte geklebt wird.

Verbindet man die Platte A mit einer positiven, die Platte B mit einer negativen geladenen Elektrizitätsquelle, so werden beide Elektrizitäten begierig von den Platten angezogen, weil die Ladungen der Platten A und B einander gegenseitig anziehen und festzuhalten suchen, da sie von entgegengesetzter Art sind. Die isolierende Zwischenlage D verhindert zunächst, daß sich die zwischen beiden Platten befindende Spannung durch einen Funken ausgleicht; sie hat aber, wie wir später erkennen werden, auch noch eine weitere Bedeutung von großer Wichtigkeit.

Verbindet man nur eine von den Platten, z. B. A, mit einer Elektrizitätsquelle, so vermag auch sie eine große Menge von Elektrizität aufzunehmen, wenn man die andere Platte (B) zugleich mit der Erde in leitende Verbindung bringt. Nehmen wir an, A sei mit einer positiven Elektrizitätsquelle in Verbindung und dadurch ein wenig mit positiver Elektrizität geladen; nehmen wir ferner an, die scheinbar unelektrische Erde sei mit gleich großen Mengen positiver und negativer Elektrizität geladen, welche einander gewissermaßen im Schach halten. Dann wird die positive Ladung auf A einen Teil der negativen Ladung der Erde nach B locken und gleichzeitig die entsprechende Menge positiver Elektrizität, an welche diese negative Ladung

vorher gebunden war, möglichst weit abstoßen — wozu die weite Erde ja reichlich Platz bietet. Die negative Ladung in B wirkt wieder anziehend auf die nach A strömende positive Elektrizität, diese bewirkt wieder eine stärkere Zuströmung von negativer Erd-Elektrizität nach B usw.

Auf diese Weise pressen sich die beiden Platten A und B gegenseitig rasch voll Elektrizität; die Anhäufung nimmt erst dann ein Ende, wenn die positive Elektrizität in A ebenso hoch gespannt ist, wie in der mit A verbundenen Elektrizitätsquelle: dann kann wegen Mangels einer antreibenden Spannungsdifferenz kein elektrischer Strom zwischen der Elektrizitätsquelle und der Platte A zustandekommen, also die Ladung von A nicht mehr größer werden.

Verbindet man nun die Platten A und B durch einen Draht, so springt ein knallender und glänzender Funke über, welcher beweist, daß sich große Mengen von Elektrizität auf den beiden Platten angesammelt haben. Einen viel schwächeren Funken erhält man, wenn man die beiden Platten A und B vor der Ladung weit auseinanderrückt. Große gegenseitige Nähe der Platten ist also die erste Bedingung für die verstärkende Kraft dieser Anordnung.

Man kann natürlich durch eine Zahl ausdrücken, um wieviel mehr Elektrizität die Platten in der Anordnung des Kondensators aufnehmen können, als bei Einzel-Ladung. Diese Zahl nennt man die Verstärkungszahl des Kondensators.

Die isolierende Platte D hat eine höchst wichtige Eigenschaft. Sie hindert nicht bloß eine Vereinigung der Ladungen von A und B, sondern sie entzieht diesen Platten ihre Ladungen und „durchtränkt" damit gleich-

sam ihre beiden Flächen, welche den Platten A und B zugekehrt sind. Dieser Umstand wäre eigentlich für einen Ausgleich der Spannung günstig; daß ein solcher nicht stattfindet, ist eine der noch nicht hinreichend erklärten Tatsachen, welche man am Kondensator beobachtet. Hebt man nun die geladenen Platten A und B gleichzeitig von der Platte D mit Hilfe von isolierenden Handgriffen weg, so erweisen sich A und B als fast ganz unelektrisch; berührt man die Flächen der Platte D mit dem Finger, so merkt man von der darin aufgespeicherten Ladung fast nichts, da man wegen der isolierenden Eigenschaft der Platte D eben nur die unmittelbar berührten Stellen entladet, während die Nachbargebiete geladen bleiben. Drückt man nun die Platten A und B wieder an die Seiten von D an (mit den isolierenden Griffen natürlich) und verbindet A und B durch einen Draht, so springt bei Annäherung des Drahtes ein krachender Funke über. Daraus geht hervor, daß die Hauptmengen der Ladungen in der Oberfläche der Platte D steckten. Daß ein Teil auch tiefer eingedrungen ist, ergibt sich daraus, daß man nach einigen Minuten abermals einen Funken durch Verbindung von A mit B erhalten kann, obgleich man bei der ersten Entladung diese beiden Platten einen Augenblick lang gut leitend verbunden hatte. Dieser Funke ist schwächer als der erste. Er rührt offenbar von dem in größere Tiefen der Platte D eingedrungenen Teil der Ladungen; denn wenn man nach der ersten Entladung 5 Minuten bis zur zweiten wartet, ist der zweite Funke stärker, als wenn man nur 1 Minute verstreichen läßt.

Noch rätselhafter wird die Rolle, welche bei dem ganzen Vorgang die Platte D spielt, wenn man mehrere Kondensatoren von ganz gleicher Größe und Dicke her-

stellt, welche sich nur dadurch unterscheiden, daß die Platten D aus verschiedenen Isolierungsmitteln bestehen: z. B. aus Paraffin, Glimmer, Glas, Hartgummi, Schwefel oder aus einem mit Luft oder Petroleum erfüllten Zwischenraum.

Dann findet man nämlich, daß diese verschiedenen Isolatoren dem Kondensator genau vorschreiben, wieviel Elektrizität er aufnehmen darf. Das Aufnahmevermögen oder die Kapazität ist also eine von der isolierenden Zwischenschicht D abhängende Eigenschaft. Ist die Kapazität eines mit Luft isolierten Kondensators für eine gewisse Spannung gleich 1, so findet man ihre Werte für andere Isolierungsmittel bei derselben Spannung aus der folgenden Tabelle:

Luft	1	Glas (Flintglas)	3,1
Paraffin	2,0	Hartgummi	3,2
Schwefel	3,88	Glimmer 1	7
Petroleum	2,1	Glimmer 2	8
Terpentinöl	2,2		

Ein mit Glimmer isolierter Kondensator nimmt also 7—8mal mehr Elektrizität in sich auf als ein mit Luft isolierter von gleicher Größe.

Die Platte D hat also durchaus nicht bloß die Aufgabe zu isolieren. Deshalb erscheint es billig, daß man ihr einen besonderen Namen gegeben hat: man nennt sie das Dielektrikum des Kondensators. Die für seine Eigenschaften kennzeichnenden Zahlen der vorhin angegebenen Tabelle nennt man, recht gelehrt, die Dielektrizitätskonstanten. Sie sind die Maße für die Kapazität der Kondensatoren. Aber diese Zahlen haben noch eine andere tiefe und interessante Bedeutung.

Manche von den oben angeführten Dielektrika sind durchsichtig, z. B. Luft, Paraffin, Schwefel (im reinen

Zustand), Petroleum, Glimmer, Glas. Durchsichtige Stoffe lenken bekanntlich einen Lichtstrahl, der schräg auf sie trifft, aus seiner Richtung mehr oder minder stark ab, je nach der Art des durchsichtigen Stoffes. Diese Erscheinung nennt man *Lichtbrechung* und man drückt die Größe der Ablenkung eines Lichtstrahls durch eine Zahl aus, den sogenannten *Brechungsindex*. Er ist z. B. für

Luft	= 1,00	Petroleum	= 1,44
Paraffin	= 1,41	Terpentinöl	= 1,46
Schwefel	= 1,97	Flintglas	= 1,75

Wir sehen aus dieser Tabelle, daß Luft fast gar keine, dagegen ein Schwefelkristall oder ein Flintglasprisma eine recht starke Lichtbrechung besitzen. Vor mehr als 50 Jahren vermutete man bereits, daß sich das Licht in solchen Stoffen langsamer fortbewege als im leeren Raum, und daß diese Zahlen zugleich das umgekehrte Verhältnis der Geschwindigkeiten des Lichts bedeuten. Ein Beispiel wird klar machen, was ich meine: Die Brechungsindizes für Luft und Paraffin sind 1 und 1,41; man vermutete also, daß sich das Licht in der Luft 1,41mal schneller fortbewegt als im Paraffin. Diese Vermutung wurde durch Versuche des französischen Forschers *Foucault* bestätigt, dem es gelang, die Geschwindigkeit des Lichts in solchen durchsichtigen Stoffen *direkt* zu messen. Er fand, daß sie im gleichen Verhältnis abnahm, in welchem der Brechungsindex größer wurde.

Wenn aber das Licht in solchen Stoffen eine geringere Geschwindigkeit hat, so muß der Äther (S. 14), welcher die Lichtwellen im Körper trägt, *dichter* (schwerer) sein: denn wir haben früher gesehen, daß ein Körper um so langsamer schwingt und die Wellen um so

langsamer fortpflanzt, je schwerer er ist. Aus rechnerischen Gründen, auf die wir hier nicht eingehen können, muß die *Dichte* des Äthers in einem durchsichtigen Stoff gleich dem *Quadrat des Brechungsexponenten sein*: ist sie also in der Luft gleich 1, so muß sie im Paraffin gleich $1{,}41^2 = 1{,}41 \times 1{,}41 = 1{,}988$ sein.

564
141
19881

Wenn man diese Zahl mit der *Dielektrizitätskonstante* des Paraffins vergleicht (S. 39), so findet man, daß sie fast den gleichen Wert hat. Dies ist aber nicht bloß beim Paraffin so, sondern auch *bei fast allen durchsichtigen Isolatoren, welche bis jetzt untersucht worden sind.*

Dies geht für einige Stoffe aus der folgenden Tabelle hervor:

Name des Stoffs	Brechungsindex	Quadrat des Brechungsindex	Dielektrizitäts-konstante
Luft	1	1	1
Paraffin	1,41	2,01	2,0
Flintglas	1,75	3,05	3,16
Schwefel	1,97	3,89	3,88
Petroleum . . .	1,44	2,07	2,1
Terpentinöl . . .	1,46	2,13	2,2

Damit ist klar genug bewiesen, daß zwischen den optischen und elektrischen Eigenschaften eines Isolators ein inniger Zusammenhang besteht. Derselbe Äther, der die Schwingungen der Lichtwellen im Glas trägt, verleiht dem Glas wahrscheinlich auch seine verstärkende Kraft, wenn es als Dielektrikum im Kondensator verwendet

wird. Dies ist einer der Fälle, welche uns vermuten lassen, daß die Elektrizität nicht bloß im Wirkungsbereich der funkentelegraphischen Apparate an den Äther gebunden ist, sondern wahrscheinlich allüberall, wo sie uns in irgend einer Form — selbst in der ruhenden Form der Kondensatorladung — begegnet. —

Die Bedeutung des Kondensators für die drahtlose Telegraphie liegt darin, daß er eine hohe Kapazität und fast gar keine Selbstinduktion besitzt. Da die elektrischen Wellen um so größer ausfallen, je größer Kapazität und Selbstinduktion des Senders sind, so wird man zum Zweck der Gewinnung großer Wellen den Sender mit einem Kondensator verbinden, wodurch sich seine Kapazität erhöht. Man könnte — theoretisch — die großen Wellen auch dadurch herstellen, daß man die Entladungsfunken zwischen den Enden zweier Drähte überspringen ließe, welche spiralförmig gerollt sind, denn dies würde die Selbstinduktion des Senders und damit auch die von ihm ausgehenden Wellen vergrößern. Aber dies wäre eine viel weniger praktische Methode als die Anwendung eines Kondensators, weil mir der Kondensator zugleich erlaubt und mich sogar dazu nötigt, größere Elektrizitätsmengen anzuwenden, während das spiralige Aufrollen der Senderdrähte dies nicht gestattet. Dieses gibt also wohl lange Wellen, aber schwach wie die Dünung des Meeres, wenn der Sturm längst vorbei ist. Der Kondensator aber mit seinen größeren Elektrizitätsmengen macht nicht bloß die Wellen lang, sondern er verstärkt sie auch gewaltig gleich den haushohen Meereswogen im Sturm.

Die Verbindung des Kondensators mit dem Sender ist eine überaus einfache: man verbindet die beiden Metallplatten des Kondensators durch kurze, gerade

Drähte mit den beiden Kugeln KK des Senders (vgl. Abb. 2). Man nimmt auch häufig zwei Kondensatoren und verbindet eine Platte von jedem mit den Kugeln KK, während man die beiden anderen Platten unter sich verbindet.

Man gibt für diese Zwecke dem Kondensator die seit 200 Jahren bekannte Form der Leydener Flasche (Abb. 10): ein zylindrisches Glasgefäß A wird innen und außen von unten herauf bis zur Hälfte seiner Höhe mit Stanniol beklebt, desgleichen der Boden. Das Glas ist das Dielektrikum, die beiden Stanniolüberzüge a und b — Belege genannt — sind die Metallplatten. Der leitende Zugang zum inneren Beleg erfolgt durch einen Messingstift c mit Kugel d, der durch die Mitte des Hartgummideckels auf dem Glas geführt wird und mit Federn und Stanniolballen den inneren Beleg mit möglichst großer Fläche berührt. Die unbelegte obere Hälfte des Glases dient der Isolation und muß zur Verhinderung der Wasserhautbildung (vgl. das Bändchen „Elektrizität") innen und außen wiederholt mit Schellack-

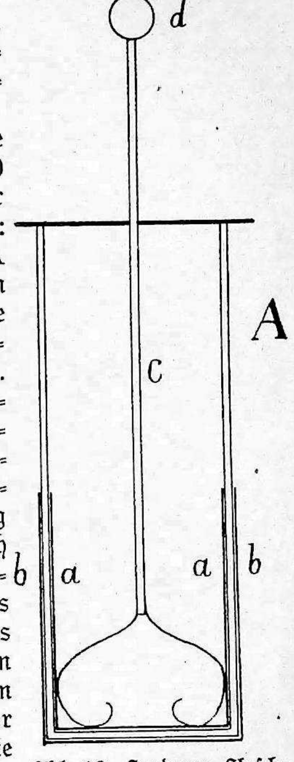


Abb. 10. Leydener Flasche im Durchschnitt.

firnis angestrichen werden, welcher auf das sorgfältigste mit absolutem (wasserfreiem) Alkohol in zugedeckten Gefäßen bereitet wurde.

Nicht jede Glassorte eignet sich für Leydener Flaschen; am besten ist böhmisches Kaliglas (sog. schwerschmelzbares Glas); dann kommt grünes, ungereinigtes, ordinäres Flaschenglas. Die gewöhnlichen weißen Flaschengläser (Natronkalkgläser) sind oft unbrauchbar, weil sie schlecht isolieren. — Das Stanniol wird in 4—5 cm breite Streifen geschnitten und mit ganz dünnem, frisch bereiteten Stärkekleister in der Längsrichtung des Glases aufgeklebt. Dann wird der überschüssige Kleister mittels eines harten, faltenfreien Tuchballens unter gelindem Aufdrücken herausgequetscht, bis das Stanniol spiegelglatt und faltenfrei aufliegt. Würde man es im ganzen aufkleben wollen, so wären Falten und Verzerrungen unvermeidlich.

Je dünner das Glas ist, um so stärker anziehend (kondensierend) wirken die Elektrizitäten des inneren und des äußeren Belegs aufeinander ein, um so größer ist also bei sonst gleichen Verhältnissen die Kapazität der Flasche. Aber, um so leichter wird auch die Glasisolation von hohen Spannungen durchgeschlagen. Mit Vorliebe schlagen die Entladungsfunken längs der unbelegten Oberfläche des Glases um den oberen Rand herum; sie erreichen dabei fast die doppelte Schlagweite von der, welcher ihnen in freier Luft zukommt; d. h. Funken von 5 cm Länge vermögen die Innen- und Außenseite eines 5 cm hohen Glasrandes zu überbrücken. Deshalb belegt man an Leydener Flaschen für hohe Spannungen nur das untere Drittel der Höhe des Glases.

5. Die induktive Kuppelung.

Die Verbindung der Antenne mit der Sendevorrichtung nennt man Kuppelung. Geschieht sie durch direkte leitende Verbindung, wie es auf S. 21 beschrieben wurde, so nennt man dies eine direkte Kuppelung.

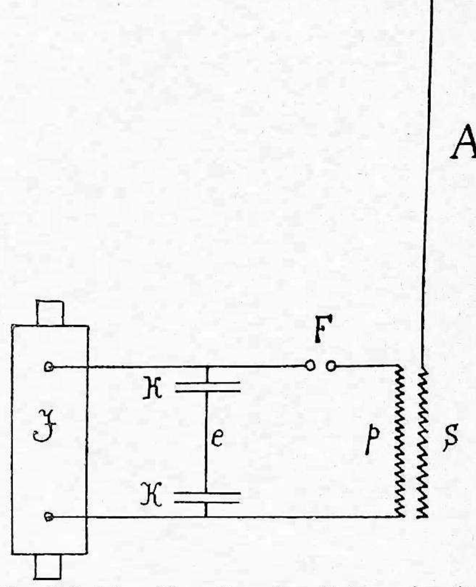


Abb. 11. Induktive Kuppelung der Antenne des Senders.

Wenn man mit Leydener Flaschen arbeitet, in welchen sich die Elektrizität zu großen Mengen aufstauen läßt, wie das Wasser eines Bachs in einem See, so gestatten diese großen Elektrizitätsmengen noch eine andere Kuppelungsart, welche man induktive (oder auch indirekte)

Kuppelung nennt. Sie wird durch die Abb. 11 deutlich gemacht. Die von den sekundären Polklemmen des Funkeninduktors J kommenden Drähte sind bei F durch eine Funkenstrecke unterbrochen. Jeder von diesen beiden Drähten ist mit dem inneren Beleg eines Flaschenkondensators (Leydener Flasche) KK verbunden, während die äußeren Belege dieser Kondensatoren unter sich durch den Draht e verbunden sind, der durch Verbindung mit einer Wasserleitung oder dgl. geerdet wird. Die Antenne A endigt unten in eine Drahtspule S, welche sich im Induktionsbereich der primären Drahtspule p befindet. Diese bildet einen Teil des Induktorfunkenstromkreises. Die Wirkungsweise dieser Schaltung erklärt sich ohne weiteres aus dem, was wir im Bändchen „Elektrizität" über die Induktionserscheinungen gesagt haben. Die Spulen p und S dürfen natürlich keinen Eisenkern besitzen, da dieser infolge der Hysteresis (vgl. d. Bändchen „Elektrizität") den raschen Oszillationen des Funkenstromkreises nicht folgen könnte.

Die größeren Sender werden gegenwärtig in der Regel mit induktiver Antennenverbindung ausgestattet.

Die französische Revolution 1789—1793 von **Fürst Peter Kropotkin.** Deutsche Ausg. von Gustav Landauer. 2 Bde. Preis geh. M. 4.80, geb. M. 6.—.

Wissenschaftliche Rundschau. Halbmonatsschrift für die Fortschritte aller Wissenschaften. Herausgeg. von Dozenten **M. H. Baege.** Jährl. 24 Hefte. Preis pro Vierteljahr M. 1.50. Verlangen Sie ausführliche Prospekte.

Ideale und Wirklichkeit in der russ. Literatur von **Fürst Peter Kropotkin.** Autor. Übers. besorgt v. B. Ebenstein. Preis geh. M. 3.—, geb. M. 4.—.

Was lehrt die Vergangenheit, was fordert die Zukunft vom Deutschen Schiffbau? Eine kritische Studie von Geh. Reg.-Rat **Oswald Flamm.** Mit 18 Abb. Preis geh. M. 1.80, geb. M. 2.60.

Die Pädagogik Schleiermachers in ihrem Verhältnis zu seiner Ethik von Dr. **Richard Wickert.** Preis geh. M. 3.—.

Die Schmetterlinge unserer Heimat, ihre Entwicklung und ihr Leben von **Richard Kleine.** Mit 29 Abb. Preis geh. M. 1.—, geb. M. 1.60.

Zur Genesis der Schopenhauerschen Metaphysik von **Otto Weiß.** Preis geh. M. 1.—.

Aus dem Seelenleben höherer Tiere von Dr. **Alexander Sokolowsky.** Mit 10 Kunstbeilagen. Preis geh. M. 1.—, geb. M. 1.60.

Die Lösung der Shakespeare-Frage. Eine neue Theorie von **Karl Bleibtreu.** Zweite vermehrte Aufl. Preis geh. M. 2.—, geb. M. 3.—.

Tiere der Heimat. Bilder u. Skizzen aus dem Tierleben unseres Vaterlandes von **Rudolf Zimmermann.** Mit 100 Abb. n. photogr. Naturaufn. des Verfassers. Preis geh. M 2.—, geb. M. 2.80.

Natur-Bibliothek herausgeg. von **R. H. Francé:**

1. **Reise in die Aequinoktial-Gegenden des neuen Kontinents. Von A. v. Humboldt.**
2. **Reise usw.** II. **Von A. v. Humboldt.**

3/4. **Versuche, die bestimmten und einfachen Verhältnisse aufzufinden, nach welchen die Bestandteile der unorgan. Natur miteinander verbunden sind. Von J. Berzelius.**

5. **Die Pflanze als Zaubermittel. Von** Dr. **F. Unger.** Mit 3 Abb.

6/7. **Das Süßwasser-Aquarium.** Eine Anleitung zur Herstellung und Pflege desselben. **Von E. A. Roßmäßler.** Mit 50 Abb.

8. **Der Mensch und das Weltmeer. Von E. A. Roßmäßler.**
9. **Grundzüge der Meteorologie. Von E. A. Roßmäßler.** Mit 3 Abb.
10. **Das Wasser als Regulator des Klimas. Von E. A. Roßmäßler.** Mit 1 Abb.
11. **Die Alpen in Natur- und Lebensbildern. Von A. v. Berlepsch.** Mit 1 Abb.

12/13. **Die Pflanze als Erregungs- und Betäubungsmittel. Von** Dr. **F. Unger.** Mit 6 Abb.

14. **Über die Verschiedenartigkeit des Naturgenusses. A. v. Humboldt.**

15/16. **Die Entwicklung der Naturbeschreibung und Landschaftsmalerei. Von A. v. Humboldt.**

17/19. **Der Frühling. Von E. A. Roßmäßler.** Mit 40 Abb.

20/21. **Aus den nördlichen Kalkalpen.** Ersteigungen, I. **Von H. v. Barth.** Mit 5 Abb. u. Karten.

22. **Aus den nördlichen Kalkalpen.** Ersteigungen, II. **Von H. v. Barth.**

23/25. **Der Sommer. Von E. A. Roßmäßler.** Mit 33 Abb.

26/31. **Naturgemälde. Von A. v. Humboldt.**

32. **Herbst und Winter. Von E. A. Roßmäßler.** Mit 7 Abb.
33. **Beiträge zur Dynamik des Himmels. Von J. R. Mayer.**
34. **Bemerkungen über das mechanische Äquivalent der Wärme. Von J. R. Mayer.**

35/36. **Bemerkungen über die Kraft der unbelebten Natur. Von J. R. Mayer.**

37/38. **Naturbilder aus den Alpen. Von A. Schaubach.**

39. **Die Bewohner der deutschen Alpen. Von A. Schaubach.**

40/41. **Der Schiffbruch der Antelope. Von Keate u. Forster.**

42/43. **Flora im Winterkleide. Von E. A. Roßmäßler.** Mit 52 Abb.

44/48. **Die physische Geographie des Meeres. Von M. F. Maury.** Mit 3 Abb.

49. **Die Grundlegung der Atomtheorie. Von J. Dalton.** Mit 37 Abb.
50. **Anleitung zum praktischen Mikroskopieren für Anfänger. Von Gambera u. Leuze.** Mit 13 Abb.

Preis per Nr. 25 Pfg., geb. 65 Pfg., Doppelnummer geb. 90 Pfg., dreifache Nr. geb. M. 1.20, vierfache Nr. geb. M. 1.45, fünffache Nr. geb. M. 1.75. Preis für eine Serie (Nr. 1—25 oder Nr. 26—50 je M. 5.50, geb. M. 10.—.

Ich wünsche dem zurzeit einzig dastehenden Unternehmen recht lebhaften Erfolg. Schulanzeiger für Niederbayern.

Ein warm zu begrüßendes Unternehmen gerade für uns Lehrer. Ländliche Fortbildungsschule.

Wir möchten die Bändchen in der Bibliothek eines jeden Lehrers wissen. Der Volksschullehrer.

Aussterbende Tierwelt von Dr. **F. Knauer.** Mit zahlreichen Abbildungen. Preis geh. M. 1.—, geb. M 1.60.

Leben und Heimat des Urmenschen von Dr. **Ludwig Wilser.** Mit 35 Abb. Preis geh. M. 1.—, geb. M. 1.60.

Der Zug der Vögel. Eine biolog. Skizze von **Kurt Gräser.** Mit 10 Abbild. Preis geh. M. 1.—. geb. M. 1.60.

Vogelflug und Flugmaschinen. Darstellung und Kritik der Erfindung des Kraftfluges durch Natur und Technik von Dr. **Oskar Prochnow.** Mit 36 Abb. Preis geh. M. 1.—, geb. M. 1.60.

Vom Nutzen und Schaden unserer Vögel von **Rudolf Zimmermann.** Mit 15 Abb. auf 6 Tafeln im Texte. Preis geh. M. 1.—, geb. M. 1.60.

Die Völkerschlacht bei Leipzig. Ein Gedenkbuch zu den Jahrestagen der Völkerschlacht bei Leipzig vom 16. bis 18. Oktober 1813. Von **Carl Bleibtreu.** Vierte verm Aufl. Preis geh. M. 3.60, geb. M. 4.50.

Das Werden im Weltall. Eine moderne Weltentwicklungslehre von **Felix Linke.** Mit 44 Abb. Preis geh. M. 1.—, geb. M. 1.60

Grundzüge einer realistischen Weltanschauung von Prof. Dr. **Ernst Dürr.** Preis geh. M. 2.—.

Über religiöse und wissenschaftliche Weltanschauung von Prof. Dr. **Ludwig Büchner.** Preis geh. M. 1.50, geb. M. 1.80.

Bewohnte Welten von Dr. **M. Wilh. Meyer †.** Mit 26 Abb. Preis geh. M. 1.—, geb. M. 1.60.

Gustav Adolf Wislicenus. Ein Lebensbild aus der Geschichte der freien, religiösen Bewegung von **C. Thierbach.** Preis geh. M. 1.20.

Wohnstätten des Lebens von Dr. **Th. Arldt.** Mit 38 Abb. Preis geh. M. 2.—, geb. M. 2.80.

